PART8 連星

目標 連星とは何か，観測による確認の方法と関連付けて説明できる。

Chapter1　連星

太陽系に恒星は1つしかなく，惑星などがそのまわりを公転しています。しかし，宇宙には互いに公転運動をしている恒星も多く存在していることがわかっています。ここでは，そのような恒星である連星について学びましょう。

連星とその運動

・**連星とは**

2つの恒星が互いに公転運動しているものを**連星**という。連星のうち明るい方を**主星**，暗い方を**伴星**という。

・**連星の運動**

連星の運動は，共通重心のまわりの公転運動とみなせる。

質量が m_1 の恒星1と質量が m_2 の恒星2が共通重心のまわりを公転するとき，恒星1の軌道長半径を a_1，恒星2の軌道長半径を a_2 とすると

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

が成り立つ。

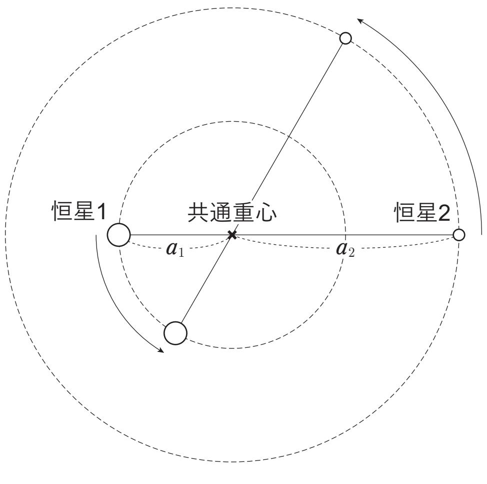
知っておこう

太陽程度の質量をもつ主系列星の場合，およそ半数は連星となっていると考えられています。

なお，3つ以上の天体が互いに公転している連星〔多重連星〕も知られています。

知っておこう

実際の連星の軌道は楕円軌道ですが，ここでは簡単のために真円として描いています。



連星の観測

・実視連星

望遠鏡により 2 つの天体が分離して観測され，それらが互いに公転運動していると確認された連星を実視連星という。

・分光連星

共通重心のまわりの公転運動により，連星をなす恒星は視線速度が周期的に変化する。視線速度が変化すると，恒星からの線スペクトルの波長が変化して見える。

特定の線スペクトルの波長が周期的に変化して見えることをもとに，2 つの天体からなると推定される連星を**分光連星**という。

・食連星

視線方向と連星の公転面がほぼ（垂直 / 平行）なとき，連星をなす恒星のうち一方が他方の前を周期的に横切って見える。このとき，2 つの恒星の光のうち一部が隠されるので，連星全体で見たときの明るさが小さくなる。

観測される明るさが周期的に変化して見えることをもとに，2 つの天体からなると推定される連星を**食連星**という。

知っておこう

天体は 3 次元空間内を運動しており，その速度は空間内のベクトルとして表せます。このベクトルの視線方向（観測者から天体を見た方向）の成分を**視線速度**といいます。ただし，視線速度は観測者から遠ざかる向きを正とします。

知っておこう

電磁波について，視線速度が 0 のときの波長を λ_0，視線速度が v のときの波長を $\lambda_0 + \Delta\lambda$ とすると，光速度を c として

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

が成り立ちます（ただし，$|v|$ は c より十分小さいとします）。

つまり，観測される電磁波の波長を視線速度が 0 のときとくらべると，天体が観測者から離れる（$v > 0$）ときは長く（$\Delta\lambda > 0$），天体が観測者に近づく（$v < 0$）ときは短く（$\Delta\lambda < 0$）なります。これを**ドップラー効果**といいます。

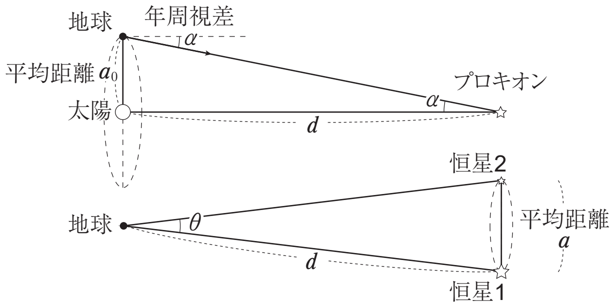
まとめ

- 2 つの天体が互いに公転しているものを連星といい，そのうち明るい方を_____，暗い方を_____という。
- 特定の線スペクトルの波長が周期的に変化して見えることをもとに，連星だと推定されるものを________という。
- 観測される明るさが周期的に変化して見えることをもとに，連星だと推定されるものを________という。

Chapter2　演習問題

1 等星の 1 つであるプロキオンは，実視連星であることが知られています。ここでは，この連星をモデルとして，恒星の質量を推定する方法を確認しましょう。ただし，以下ではこの連星の主星を恒星 1，伴星を恒星 2 とします。また，簡単のために連星の公転軌道は円軌道であり，視線方向と垂直であるものとします。

問題(1)　次の図は，連星の見え方と年周視差の関係を表す模式図です。この図に関連して述べた下の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。



上の図において θ と α はいずれも非常に小さい角であり，図中の 2 つの三角形はいずれも半径 d の扇形によって近似することができる。半径の等しい扇形の弧の長さは中心角の大きさに比例するので，

$$\frac{\theta}{\alpha} = \frac{a}{a_0}$$

と表せる。

ここで，恒星 1 と恒星 2 は 4.5 秒角だけ離れて見える。また，恒星 1 や恒星 2 の年周視差は 0.30 秒角である。これらのことから，恒星 1 と恒星 2 の平均距離は（0.3 ／ 1.3 ／ 15 ／ 45）天文単位であることがわかる。

知っておこう

本問の数値はプロキオンに関する実際の観測結果をもとにしています（ただし，計算しやすいように一部の値を修正してあります）。

問題(2)　恒星の質量について述べた次の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。また，空欄［　**ア**　］〜［　**ウ**　］に入る数値を小数第 1 位までの概数で答えましょう。

　一般化したケプラーの（第 1 法則 / 第 2 法則 / 第 3 法則）より，2 天体の平均距離を a〔天文単位〕, 公転周期を P〔年〕, 2 天体の質量の和を M〔太陽質量〕とすると

$$\frac{a^3}{P^2} = M$$

と見積もることができる。

　ここで，プロキオンの公転周期は 41 年であることがわかっている。よって，**問題(1)**の結果を用いると，恒星 1 と恒星 2 の質量の和は（0.5 / 1.0 / 2.0 / 4.0）太陽質量であることがわかる。

　ところで，恒星 1 は共通重心のまわりを半径 1.3 秒角で公転している。このとき，恒星 2 は共通重心のまわりを半径［　**ア**　］秒角で公転している。これらのことから，恒星 1 の質量は［　**イ**　］太陽質量，恒星 2 の質量は［　**ウ**　］太陽質量であることがわかる。

第 20 講　PART8　確認問題

問 1　次の文章を読み，下の問いに答えよ。

2 つの恒星が共通重心のまわりを互いに公転運動しているものを連星といい，明るい方の星を（　ア　），暗い方の星を（　イ　）という。

(1)　空欄ア，イに入る語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：主系列星　　イ：惑星

②　ア：主系列星　　イ：伴星

③　ア：主星　　イ：惑星

④　ア：主星　　イ：伴星

(2)　連星をなす 2 つの恒星 1，2 のうち，恒星 1 の質量を m_1，軌道長半径を a_1 とし，恒星 2 の質量を m_2，軌道長半径を a_2 とする。このとき成り立つ式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$m_1 a_1 = m_2 a_2$

②　$m_1 a_2 = m_2 a_1$

③　$m_1 a_1^2 = m_2 a_2^2$

④　$m_1 a_2^2 = m_2 a_1^2$

問 2　次の観測結果ウ～オから推定される連星の種類の組合せとして最も適当なものを，下の①～④のうちから一つ選べ。

ウ　望遠鏡による観測で 2 つの天体が分離して見える。

エ　線スペクトルの波長が周期的に変化して見える。

オ　観測される明るさが周期的に変化して見える。

① ウ：分光連星　エ：実視連星　オ：食連星

② ウ：実視連星　エ：分光連星　オ：食連星

③ ウ：実視連星　エ：食連星　オ：分光連星

④ ウ：食連星　エ：分光連星　オ：実視連星

第 20 講　恒星

PART1　天体の等級

問題(1)　ア：$\frac{1}{100}$　イ：n　ウ：$\frac{m}{5}$

問題(2)　エ：2　オ：$\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

問題(3)　カ：10　キ：$\frac{m-M}{5}$　ク：$\left(\frac{10}{d}\right)^2$　ケ：5　コ：5

PART2　恒星のスペクトル型

問題(1)　絶対温度，反比例，ウィーンの変位則，高く，低い，大気，Hα線，水素原子，高い

問題(2)　フラウンホーファー線

問題(3)　G 型

PART3　HR 図

問題(1)　ア：σT^4　イ：$4\pi R^2$　ウ：$4\pi\sigma T^4 R^2$　エ：$4\pi\sigma T_S^4 R_S^2$　オ：4　カ：2

問題(2)　【※図参照】

問題(3)　大きい，M 型，0.01 倍，大きい

PART4　主系列星の質量と寿命

問題(1)　比例，反比例

ア：M　イ：L　ウ：M_S　エ：L_S　オ：$\frac{M}{M_S}$　カ：$\frac{L}{L_S}$

問題(2)　キ：4

問題(3)　100，10000，10，1000 万，10，3000 億

PART5　太陽質量の恒星の一生

問題(1)　ア：4　イ：2　ウ：2　エ：4　オ：3　カ：7

問題(2)　キ：−3　ク：10

PART6　さまざまな恒星の一生

問題(1)　ア：$\frac{1}{16}$　イ：10000　ウ：160000　エ：400
2
オ：$\frac{1}{100}$
地球と同程度

問題(2)　100 万分の 1，1.4，10^6

問題(3)　60000，1.4，5×10^{14}

PART7　星団

問題(1)　暗く，低い，大きく，短い，大きな，種族Ⅱ，星団 X

問題(2)　散開星団，散光星雲，球状星団，星団 Y，星団 X

PART8　連星

問題(1)　15

問題(2)　第 3 法則，2.0
ア：3.2　イ：1.4　ウ：0.6

第 20 講　PART8　確認問題　解答

問 1

(1)　④

解説：
連星をなす 2 つの恒星のうち，明るい方を主星，暗い方を伴星という。

(2)　①

解説：
（質量）×（共通重心からの距離）が等しくなる。

問 2　②

解説：
連星の公転面が視線方向と垂直でないとき，視線速度の周期的な変化により恒星からの線スペクトルの波長が変化して見える。このことから推定される連星を分光連星という。
連星の公転面が視線方向と平行なとき，2 つの恒星の一方が他方の前を横切って見え，連星全体の明るさが小さくなる。このように明るさが周期的に変化することから推定される連星を食連星という。